Aus der Hals-Nasen-Ohrenklinik
der Universität Düsseldorf
(Prof. Dr. K.-H. Vosteen)

Das Spiralganglion des Rhesus-Affen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Ji-bao Wang

1981

Aus der Hals-Nasen-Ohrenklinik
der Universität Düsseldorf
(Prof. Dr. K.-H. Vosteen)

Das Spiralganglion des Rhesus-Affen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Ji-bao Wang

1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf
gez:Prof. Dr. M. Straßburg

Referent
gez: Prof. Dr. W. Arnold

korreferent
gez: Prof. Dr. D. Friedburg

Herrn Professor Dr. K.-H. Vosteen möchte ich für die Möglichkeit in den Laboratorien der Hals-Nasen-Ohren-Universitätsklinik Düsseldorf zu arbeiten sehr herzlich danken. Herrn Professor Dr. W. Arnold bin ich für die Einführung in die Technik der Elektronenmikroskopie, für die Überlassung des Themas und für die hilfreiche Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit sehr dankbar.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41536504_0096

Zusammenfassung:

Von 4 Felsenbeinen ausgewachsener Rhesus-Affen wurde der Komplex der Spiralganglienzellen auf verschiedenen Ebenen der Cochlea licht- und elektronenmikroskopisch untersucht. Es lassen sich zwei Typen von Ganglienzellen, nämlich 90 % große und 10 % kleine Ganglienzellen unterscheiden. Von den großen Neuronen wiederum sind 90 % von einer semikompakten Myelinscheide umhüllt, von den kleinen Neuronen dagegen nur 15 %. Ausschließlich zu den kleinen Neuronen ziehen marklose Nervenendigungen, die an der Zelloberfläche enden und dort synapsenähnliche Kontakte bilden. Die in den Nervenendigungen enthaltenen Bläschen sind synaptischen Vesiklen sehr ähnlich, im Cytoplasma der angrenzenden kleinen Ganglienzellen findet man Dense Core Vesicles. Aber auch im Cytoplasma der großen Ganglienzellen liegen Dense Core Vesicles, die sich bis weit in den peripherienAxonfortsatz der zugehörigen Ganglienzelle verfolgen lassen. Die charakteristischen cytoplasmatischen Unterschiede zwischen großen und kleinen Ganglienzellen, unabhängig davon, ob sie bemarkt oder unbemarkt sind, bestehen darin, daß ausschließlich im Cytoplasma der kleinen Ganglienzellen dichte Bündel von Neurofilamenten vorhanden sind. Es wird diskutiert, ob die synapsenähnlichen Nervenendigungen, welche an die kleinen Ganglienzellen heranreichen, dem efferenten, olivocochleären Spiralbündel zuzuordnen sind.

Einleitung:

In der aufsteigenden Wirbeltierreihe findet man im Spiralganglion der Cochlea grundsätzlich zwei Typen von Spiralganglienzellen, nämlich große und kleine. Während bei den bisher untersuchten Säugetieren die großen Ganglienzellen myelinisiert und die kleinen nichtmyelinisiert beschrieben wurden (Kellerhals et al, 1967; Spoendlin, 1971; Ross und Burkel, 1973) lassen sich beim Menschen zwar große und kleine Ganglienzellen unterscheiden, jedoch findet sich hier kein einheitliches Myelinisationsmuster. Kimura et al (1979) sowie Ota und Kimura (1980) fanden beim Menschen etwa 4 bis 6 % aller Ganglienzellen (große und kleine) myelinisiert, der weitaus überwiegende Anteil der Nervenzellen dagegen weist keinerlei Myelinisation auf. Eine strenge Zuordnung der myelinisierten großen und kleinen Ganglienzellen zu bestimmten Innervationsmustern der inneren und äußeren Haarzellen, wie er beispielsweise beim Meerschweinchen möglich ist, war nicht zu erkennen. Der Eindruck, den man aus den Untersuchungen von Kimura et al gewinnen konnte, nämlich daß mit zunehmendem Lebensalter die Zahl der myelinisierten Ganglienzellen ansteigt und somit die Myelinisation des menschlichen Spiralganglions altersabhängig ist, scheint sich aus den Untersuchungen von Arnold et al (1980) zu bestätigen: Beim neugeborenen Menschen sind sämtliche Ganglienzellen, sowohl große wie kleine noch nicht myelinisiert.

Thorn und Arnold (1976) konnten beim Meerschweinchen nachweisen, daß dort die Myelinisation der meisten Ganglienzellen des Spiralganglions mit dem sechsunddreißigsten intrauterinen Entwicklungstag beginnt und mit der Geburt abgeschlossen ist. Somit kann zumindest für die untersuchten Säugetiere (Meerschweinchen, Ratte, Maus) der Einwand nicht gelten, nichtmyelinisierte Ganglienzellen würden lediglich unreife Ganglienzellen darstellen und zu einem späteren Zeitpunkt des extrauterinen Lebens erst eine Myelinisation erhalten.

Das klassische Myelinisationsmuster, wie es beispielsweise von Spoendlin (1979) an der Katze demonstriert wurde, wo die kleinen, nichtmyelinisierten Ganglienzellen offensichtlich ausschließlich mit den äußeren Haarzellen und die großen myelinisierten Ganglienzellen ausschließlich mit den inneren Haarzellen in Verbindung stehen, läßt sich vorerst auf den Menschen nicht übertragen. Die in der Literatur bestehenden Ansichten über die Bedeutung der kleinen Neuronen sind unterschiedlich: Thomsen (1967) glaubte, daß es sich hierbei um unreife Formen noch nichtmyelinisierter Ganglienzellen handele, Ross (1973) und Ross und Burkel (1973) vermuteten in den kleinen, nichtmyelinisierten Ganglienzellen parasympathische Neuronen.

Da alle vorliegenden Untersuchungen an unterschiedlichen Tierspezies durchgeführt wurden, ist es möglich, daß in

der aufsteigenden Säugetierreihe die funktionelle Bedeutung der verschiedenen Ganglienzellen auseinanderweicht. Beim erwachsenen Menschen beispielsweise lassen sich kleine und große Neuronen nur durch cytoplasmatische Kriterien unterscheiden: Die kleinen Neuronen besitzen in ihrem Chromcytoplasma dichte Bündel und Anordnungen von Neurofilamenten, welche den großen Ganglienzellen fehlen (Ota und Kimura, 1980). Aber bereits beim neugeborenen Menschen sind nicht einmal diese cytoplasmatischen Kriterien ersichtlich, hier fehlen in den kleinen Neuronen noch die Neurofilamente (Arnold et al, 1980). Auch bei der Katze (Spoendlin, 1971) besitzen die kleinen, nicht myelinisierten Ganglienzellen eine feinfilamentöse, cytoplasmatische Grundstruktur, die kleinen Ganglienzellen machen hier etwa 5 % der Gesamtpopulation aus. Bei der Ratte dagegen (Ross und Burkel, 1973) beträgt die Anzahl der kleinen Neuronen bereits 7 bis 8 %, aber auch hier ist die neurofilamentöse Grundstruktur des Cytoplasmas vorhanden.

Die unterschiedlichen Befunde am Spiralganglion in der aufsteigenden Säugetierreihe und selbst die offensichtliche Altersabhängigkeit der Myelinisation menschlicher Ganglienzellen macht es erforderlich, ein Glied in der Kette bis hin zum Primaten zu schließen, nämlich eine Untersuchung am Spiralganglion des Affen (Rhesus-Affe) vorzunehmen.

Material und Methode:

4 Felsenbeine gesunder, männlicher Rhesus-Affen, im Alter von fünf und sechs Jahren, wurden nach intravitaler Perfusionsfixation mit 3 %igem Glutaraldehyd über die Aorta ascendens entnommen, die Hörschnecken anschließend über das ovale und runde Fenster mit 6,5 %igem Glutaraldehyd perfundiert und schließlich die Felsenbeine zehn Tage lang in 6,25 %igem Glutaraldehyd nachfixiert. Nach Auswaschen des Fixationsmedium mit Saccharose-Phosphatpuffer erfolgte die Nachfixation in 1 %igem Osmiumtetroxyd. Die Dehydrierung wurde in der aufsteigenden Acetonreihe vorgenommen, die Zwischenkontrastierung mit Uranylacetat erfolgte in 70 %igem Aceton. Die Felsenbeine wurden im Block in Epon eingebettet und nach Härtung in sagittaler Richtung der Cochlea in 1 mm dicke Scheiben zersägt. Aus diesen Scheiben wurden die verschiedenen Windungsanteile des Spiralganglionkomplexes mit einer Rasierklinge herausgestanzt und erneut orientiert in Eponkapseln eingebettet. Dieses Material wurde dann licht- und elektronenmikroskopisch untersucht.

Befunde:

Im Spiralganglion des Rhesus-Affen sind zwei Ganglienzelltypen, große und kleine zu unterscheiden. Es zeigt sich, daß sowohl bei den großen als auch bei den kleinen Ganglienzellen myelinisierte und nichtmyelinisierte Neuronen vorhanden sind. Die markhaltigen Zellen machen etwa 90 % sämtlicher Ganglienzellen aus. Nach Durchsicht der Serienschnitte von 1 µ Dicke fanden wir, daß große Ganglienzellen bipolar, kleine Ganglienzellen dagegen multipolar sind (Abb. 1).

Die großen Neuronen, mit einem Durchmesser von 20 bis 30 µ, bezeichnen wir als Typ I-Zellen. Sie liegen bevorzugt im Zentrum des Ganglienzellkomplexes. Wiederum etwa 90 % von diesen großen Neuronen sind von einer semikompakten Myelinscheide umhüllt, die aus fünf bis acht Schichten von major dense lines zusammengesetzt ist. 10 % der großen Ganglienzellen hingegen sind nur von einer oder mehreren zarten cytoplasmatischen Schichten der Satellitenzellen umhüllt. Elektronenmikroskopisch lassen sich zwischen den bemarkten und unbemarkten großen, Typ I-Ganglienzellen keine feinstrukturellen Unterschiede ausmachen. Sowohl bei den myelinisierten als auch bei den nichtmyelinisierten großen Ganglienzellen liegt der große, runde Kern zentral und zeigt einen kräftigen Nucleolus. Bevorzugt in Kernnähe findet man ein Feld mit rauhem, endoplasmatischem Retikulum, einen deutlichen Golgi-Komplex sowie in der Nähe des Golgi-

Komplexes bis hin zur äußeren Zellmembran gelegentlich dense core vesicles mit einem Durchmesser von 700 bis 800 Å. Darüber hinaus liegen im gesamten Cytoplasma freie Ribosomen in Rosettenform verstreut (Abb. 2, Abb. 3a, b).

Die kleinen Ganglienzellen vom Typ II sind multipolar und zeigen meist drei Fortsätze. Die Ganglienzellen haben einen Durchmesser von 10 bis 15 µ. Sie liegen bevorzugt in der Peripherie des Zellkomplexes. Im Gegensatz zu den großen Ganglienzellen sind die meisten Typ-II-Ganglienzellen (85 %) ohne Markscheide. Sie werden von einem oder mehreren Ausläufer Schwann'scher Zellen umhüllt. Die Myelinisation des Axons beginnt etwa in 30 µ Abstand von der Zelle. Nur 15 % der kleinen Ganglienzellen besitzen eine sehr dünne, semikompakte Myelinscheide. Im Verlauf der Umhüllung ändert sich der Charakter der Myelinscheide, teilweise finden sich mehrere cytoplasmatische Lagen der Satellitenzellen, aber im Verlauf der gesamten Umhüllung ist hier und da eine major dense line ausgebildet. Die Myelinscheide hat dann gelegentlich fünf bis sechs Schichten. Außer der Art der Umhüllung sind zwischen myelinisierten und nicht-myelinisierten kleinen Ganglienzellen keine cytoplasmatischen Unterschiede erkennbar: Das Cytoplasma der Typ-II-Ganglienzellen enthält dichte Bündel von Neurofilamenten (Abb. 4a, b). Auch im Cytoplasma dieser kleinen Ganglienzellen liegen häufig dense core vesicles mit

einem Durchmesser von etwa 700 bis 800 Å. Ausschließlich an die kleinen Ganglienzellen ziehen zwischen die Ausläufer der Schwann'schen Zellen hindurch marklose Nervenendigungen und bilden an der Oberfläche der Typ-II-Ganglienzellen (bisweilen sogar in das Cytoplasma eindringend) synapsenähnliche Kontakte. Dabei enthalten die kolbenförmigen Nervenendigungen kleine Bläschen, die anliegenden Nervenzellen selbst jedoch dense core vesicles. Nur in einem einzigen Falle fanden wir dense core vesicles auch in einer Nervenendigung. Häufig findet man in marklosen, in die Peripherie ziehenden Axonen ebenfalls dense core vesicles mit einem Durchmesser zwischen 700 bis 800 Å (Abb. 5a, b, c, d). An den großen Typ-I-Ganglienzellen dagegen wurden nie derartige, synapsenähnliche Nervenendigungen gefunden.

Diskussion:

Wie bei allen bisher untersuchten Säugetieren findet man auch unter den Spiralganglienzellen des Rhesus-Affen zwei unterschiedliche Zelltypen. Während die großen Zellen (Typ I) bevorzugt im Zentrum des Zellkomplexes liegen und den überwiegenden Anteil der Spiralganglienzellen ausmachen, sind die kleinen Zellen in der Peripherie des Spiralganglions zu finden, dort bevorzugt gegenüber der Lamina spiralis ossea. Diese Verteilung zwischen großen und kleinen Ganglienzellen ist der bei neugeborenen Menschen (Arnold et al, 1980) sehr ähnlich.

Untersuchungen an Serienschnitten durch den Modiolus von 4 Felsenbeinen des Rhesus-Affen ergaben, daß 90 % großen, bipolaren, Typ-I-Ganglienzellen 10 % kleine, multipolare, Typ-II-Ganglienzellen gegenüberstehen. 90 % der großen Ganglienzellen besitzen eine semikompakte Myelinscheide, wogegen von den kleinen Typ-II-Ganglienzellen nur 15 % myelinisiert sind. Somit entspricht der Anteil der markhaltigen Neuronen im Spiralganglion des Affen insgesamt etwa dem, welchen Kellerhals et al (1967) bei Meerschweinchen fanden und unterscheidet sich nur geringfügig von den Beobachtungen Spoendlins (1971), der bei der Katze 95 % bemarkte Ganglienzellen auszählte. Ross et al (1973) fanden dementsprechend bei der Ratte etwa 92 bis 93 % myelinisierte Neuronen.

Vergleicht man diese Befunde am Rhesus-Affen mit dem

Vorkommen und der Verteilung myelinisierter und nicht-myelinisierter großer und kleiner Ganglienzellen beim Menschen (Kimura et al, 1979; Ota und Kimura, 1980; Arnold et al, 1980), so liegt der wesentliche Unterschied im Myelinisationsverhalten der Spiralganglienzellen zwischen höheren Säugetieren, Affen und Mensch darin, daß bei den Säugetieren bis hin zum Affen etwa 90 % aller Ganglienzellen myelinisiert sind, wogegen die Spiralganglienzellen des Menschen 95 % keine Myelinscheide besitzen. Allerdings sind bei den 5 % myelinisierter Ganglienzellen des Menschen sowohl große wie auch kleine Ganglienzellen enthalten (Kimura et al, 1979; Ota und Kimura, 1980). Der Unterschied zwischen Säugetieren und Affen hingegen liegt darin, daß bei den bisher untersuchten Säugetieren nur die großen, Typ-I-Ganglienzellen eine Myelinisation aufwiesen, wogegen die kleinen Typ-II-Ganglienzellen markscheidenlos waren. Beim Affen nun sind von der Gesamtpopulation (Typ-I- und Typ-II-Ganglienzellen) 90 % myelinisiert und 10 % nichtmyelinisiert. Das Verhältnis großer zu kleiner Ganglienzellen hingegen ist beim Affen in etwa ähnlich wie beim Meerschweinchen. Beim Menschen sind nur im hohen Lebensalter bis zu 5 % großer und kleiner Ganglienzellen myelinisiert, der neugeborene Mensch weist noch keine Myelinisation auf. Es dominieren daher bei den Säugetieren bis hin zum Rhesus-Affen die markhaltigen Spiralganglienzellen, beim Menschen dagegen die marklosen Nervenzellen. Das Verhältnis großer zu kleiner Ganglienzellen ohne Rücksicht

auf Myelinisation ist dagegen bei allen bisher untersuchten Säugetieren recht ähnlich.

Vereinzelt findet man in den großen Spiralganglienzellen des Affen, unabhängig davon ob sie myelinisiert oder nicht-myelinisiert sind, dense core vesicles mit einem Durchmesser von 700 bis 800 Å. Nach den bisher vorgelegten Untersuchungen an Goldfischen, Ratten, Kaninchen, Meerschweinchen und bei der Katze wurden dense core vesicles in großen Ganglienzellen nicht gefunden (vgl. Tabelle 1). Dense core vesicles waren bis heute nur von Ross und Burkel (1973) sowie von Ross (1973) in kleinen, nicht-myelinisierten Ganglienzellen des Spiralganglions der Ratte entdeckt worden, diese kleinen multipolaren, nicht-myelinisierten Ganglienzellen zeigten darüber hinaus einen filamentösen Aufbau des Cytoplasmas. Nach Ross und Burkel (1973) könnte es sich bei diesen kleinen Ganglienzellen (7 bis 8 % der Gesamtpopulation) um autonome Nervenzellen handeln.

Im Spiralganglion des Rhesus-Affen fallen bei etwa 10 % der kleinen, multipolaren (Typ II)-Ganglienzellen im Cytoplasma ebenfalls dense core vesicles auf sowie ein dichtes Netz von Neurofilamenten. Im überwiegenden Anteil des kleinen Zelltypus fehlt, wie erwähnt, die Myelinisation, diese Zellen sind nur von ein oder mehreren cytoplasmatischen Ausläufern der Satellitenzellen umgeben. Die filamentöse Grundstruktur der kleinen,

nichtmyelinisierten Ganglienzellen beim Affen ist ähnlich der von kleinen, nichtmyelinisierten Ganglienzellen bei der Ratte, beim Meerschweinchen, beim Kaninchen und bei der Katze (Yasunobu et al, 1963; Reinecke, 1967; Kellerhals und Engström, 1967, Spoendlin, 1971, 1972).

Nach den Untersuchungen von Spoendlin (1979) bleiben nach Durchtrennung des N. cochlearis ausschließlich die kleinen Neuronen übrig, so daß hieraus eine Verbindung der kleinen Neuronen mit Nervenfasern, die im N. acusticus verlaufen, unwahrscheinlich ist. In den gleichen Versuchen bleiben auch die efferenten Nervenfasern und Nervenendigungen an den äußeren Haarzellen intakt. Falls diese neuronalen Verbindungen auch für den Affen zutreffen, das heißt, wenn beim Affen die kleinen Neuronen den äußeren Haarzellen zuzuordnen sind, dann kommt den synaptischen Verbindungen markloser Nervenendigungen an den Perikarya der Typ-II-Ganglienzellen eine besondere Bedeutung zu. Über diese Synapsen ist dann die neuronale Aktivität und somit auch die auditorische Funktion der äußeren Haarzellen beeinflußbar. Ross et al (1973) vermuteten, daß die Typ-II-Ganglienzellen des Spiralganglions dem autonomen Nervensystem zuzuordnen seien. Anhand histochemischer und ultrastruktureller Untersuchungen konnten die Autoren zeigen, daß das Acetylcholinesterase-positive Kerngebiet im Hirnstamm der Ratten und die kleinen Spiralganglienzellen dem parasympathischen Nervensystem zuzuordnen seien.

Die herausragenden Charakteristika parasympathischer Neuronen sind: ein organisiertes, rauhes endoplasmatisches Retikulum fehlt; die Nisselsubstanz ist lichtmikroskopisch generell kaum erkennbar; alle bisher bekannten parasympathischen Nervenzellen sind multipolar und als postganglionäre Nervenzellen aufzufassen; alle parasympathischen Nervenzellen enthalten dense core vesicles. (Dixon, 1966, Yoshida, 1968). Es müßte noch histochemisch überprüft werden, ob all die großen und kleinen Ganglienzellen beim Affen, welche in ihrem Cytoplasma oder in ihren Fortsätzen dense core vesicles enthalten, dem autonomen Nervensystem zuzuordnen sind, das heißt, es müßte histochemisch der Nachweis auf Serotonin, Noradrenalin oder die Gruppe der adrenergen Neurohormone geführt werden (De Robertis und De Iraldi, 1961; Wolfe et al, 1962; Radivoj und Krstic, 1976).

Kimura et al (1979) und Arnold et al (1980) diskutieren die Möglichkeit, ob die kleinen Neuronen des menschlichen Spiralganglions eine auditorische Funktion besitzen, die von axosomatischen und axodentritischen Synapsen über die efferenten Nervenfasern des olivo-cochleären Bündels beeinflußt werden. Hieraus ergebe sich eine interessante Möglichkeit, nämlich die, daß die kleinen, Typ-II-Ganglienzellen über die Efferenzen genauso, aber bereits früher beeinflußt werden könnten, wie die äußeren Haarzellen des Corti'schen Organs. Sollten darüber hinaus die kleinen Ganglienzellen beim Affen oder beim Menschen mit den

inneren Haarzellen in Verbindung stehen, so wäre über diese Verknüpfung auch eine efferente Beeinflussung der inneren Haarzellen auf der Ebene des Spiralganglions möglich.

Zusammenfassend bleibt aufgrund der vorgelegten Befunde die Frage unbeantwortet, welche Bedeutung die dense core vesicles in den kleinen und großen, myelinisierten oder nichtmyelinisierten Ganglienzellen haben. Wären dense core vesicles nur in einem bestimmten, klar zu charakterisierenden Zelltyp vorhanden, dann wäre vermutlich eine Zuordnung dieses Zelltyps dann zum autonomen Nervensystem möglich. Da jedoch die dense core vesicles sowohl in großen bemarkten wie in kleinen, bemarkten oder unbemarkten Ganglienzellen nachweisbar sind, könnten sie entweder eine ganz andere Bedeutung als die bisher bekanntevdense core vesicles haben oder aber ein Großteil der Ganglienzellen des Spiralganglions ist tatsächlich dem autonomen Nervensystem zuzuordnen.

Literatur:

Arnold, W., Wang, J.B., Linnenkohl, S. (1980):
Neue Aspekte zur Anatomie des menschlichen Spiralganglions.
Arch. otorhinolaryngol. 228:69-84

De Robertis and De Iraldi (1961):
Plurivesicular secretory processes and nerve endings in the pineal gland of the rat.
J. biophys biochem Cytol 10:361-372

Dixon, J.S. (1966):
The fine structure of parasympathetic nerve cells in the otic ganglia of the rabbit.
Anat. rec. 156:239-251

Kellerhals, B. und Engström, H. (1967):
Die Morphologie des Ganglion spirale cochleae.
Acta otorhinolaryngol. (Stockh.) suppl.226:1-78

Kimura, R.S. et al. (1979):
Nerve fiber synapses on spiral ganglion cells in the human cochlea.
Ann. otorhinolaryngol. 88:1-17

Ota, C.Y. and Kimura, R.S. (1980):
Ultrastructural study of the human spiral ganglion.
Acta otorhinolaryngol. 89:53-62

Radivioji, V., Krstić (1976):
Ultrastructur der Säugetierzelle.
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Reinecke, M. (1967):
Elektronenmikroskopische Untersuchungen am Ganglion spirale des Meerschweinchens.
Arch. klin. exp. Ohren-Nasen-Kehlkopfheilk. 189:158-169

Rosenbluth, J. and Palay, S.L. (1961):
The fine structure of nerve cell bodies and their myelin sheaths in the eighth nerve ganglion of the goldfish.
J. biophysic and biochem. Cytol. 9: 853-877

Rosenbluth, J. (1962):
The fine structure of acoustic ganglia in the rat.
J. cell biology 12: 329-359

Ross, M.D. and Burkel, W. (1973):
Multipolar neurons in the spiral ganglion of the rat.
Acta otolaryngol. 76: 381-384

Ross, M.D. (1973):
Autonomic components of the VIIIth nerve.
Oto-rhino-laryngol. 20: 316-336

Spoendlin, H. (1971):
Degeneration behavior of the cochlear nerve.
Arch.klin. exp. Ohren-Nasen-Kehlkopfheilk.
200: 275-291

Spoendlin, H. (1972):
Innervation densities of the cochlea.
Acte otolaryngol. 73: 235-248

Spoendlin, H. (1979):
Anatomisch-pathologische Aspekte der Elektrostimulation des ertaubten Innenohres.
Acta otorhinolaryngol 223: 1-75

Thomsen, E. (1967):
The ultrastructure of the spiral ganglion in the guinea pig.
Acta otolaryngol 224: 442-448

Thorn, W. und Arnold, W. (1976):
Elektronenmikroskopische Untersuchungen am Ganglion spirale cochleae von Meerschweinchenfeten.
Verh. Anat. Ges. 70: 517-524

Wolfe, D.E. et al. (1962:
Localisation of norepinephrine in adrenergic axons by light and electronmicroscopic autoradiography.
Vth Internat. Congr. for electron microscopy 2: L-12

Yasunobu Suruki et al. (1963):
Cytological electron microscopic studies on the spiral ganglion cell of the adult guinea pig and rabbit.
Arch. histol. Jap. 24: 9-33

Yoshida, M. (1968):
Vergleichende elektronenmikroskopische Untersuchungen am sympathetischen und parasympathetischen Ganglion des Goldhamsters.
Z.Zellforsch. 88: 138-144

Abbildungslegende:

Abb. 1: Ausschnitt aus dem Spiralganglion des Rhesus-Affen. I = große, myelinisierte Neuronen, II = kleines, nichtmyelinisiertes Neuron mit langem Fortsatz.
Vergrößerung 640-fach.

Abb. 2: Große, myelinisierte Ganglienzelle (Typ I). Regelmäßige Verteilung des rauhen endoplasmatischen Retikulums, Mitochondrienreichtum.
Vergrößerung 4400-fach.

Abb. 3 a: Zwei benachbarte Typ I-Ganglienzellen mit semikompakter Myelinscheide.
Vergrößerung 56000-fach.

Abb. 3 b: Zwei benachbarte Typ I-Ganglienzellen, von denen eine (a) nichtmyelinisiert ist, die andere (b) eine semikompakte Myelinisation zeigt.
Vergrößerung 56000-fach.

Abb. 4 a: Zwei benachbarte Typ I- und Typ II-Ganglienzellen. Das Cytoplasma der Typ II-Ganglienzelle ist mit dichten Bündeln von Nruofilamenten ausgefüllt, peripher im Cytoplasma liegen kleine Mitochondrien.
Vergrößerung 17600-fach.

Abb. 4 b: Ausschnitt aus dem Cytoplasma einer Typ I-Ganglienzelle mit Darstellung von dense cored vesicles (Pfeile).
Vergrößerung 28500-fach.

Abb. 5 a: Darstellung einer kleinen, nichtmyelinisierten Ganglienzelle mit relativ dunklem Grundcytoplasma, das durch die dichte Organisation der Neurofilamente hervorgerufen wird. Die das kleine Neuron umscheidenden Schwann'schen Zellausläufer zeigen ein auffallend helles Cytoplasma (Pfeil), der Kern ist in der Regel längsoval und leicht gelappt. Die mit einem Doppelpfeil markierte Stelle weist auf mehrere marklose Endigungen hin, die in die Oberfläche der Ganglienzelle eindringen und synaptische Kontakte ausbilden.
Vergrößerung 5800-fach.

Abb. 5 b: Höhere elektronenmikroskopische Auflösung eines Randausschnittes einer Typ II-Ganglienzelle mit typischem Grundcytoplasma. Am Rande der Zelle liegen vier dense cored vesicles (Pfeile), dazwischen dringen mehrere marklose Nervenendigungen in das Cytoplasma der kleinen Ganglienzelle vor, eine Nervenendigung bildet mit der äußeren Zellmembran eine osmiophile Verdichtungszone (Doppelpfeil).
S = helles Cytoplasma der Satellitenzelle.
Vergrößerung 19000-fach.

Abb. 5 c: Hohe elektronenmikroskopische Vergrößerung (56000-fach) einer zarten, freien Nervenendigung im Cytoplasma einer kleinen Typ II-Ganglienzelle. Die kolbenförmige Nervenendigung enthält mehrere synaptische Bläschen, postsynaptisch erkennt man in der umhüllenden Ausstülpung des Zellcytoplasmas ein dense cored vesicle (Pfeil).
S = Satellitenzelle.

Abb. 5 d: Ausschnitt aus einer untergehenden, kleinen Typ II-Ganglienzelle. Die Ausläufer der umgebenden Schwann'schen Zellen haben fingerförmige Fortsätze entwickelt, so daß der Eindruck eines makrophagenähnlichen Zellabbaues durch die Schwann'sche Zelle entsteht.
Vergrößerung 12600-fach.

Tabelle 1

M = myelinisierte Nervenzellen, b = bipolar, Mp = multipolar
S = synapsenähnliche Kontakte, dcv = dense core vesicles,
Nf = Neurofilamente im Cytoplasma, Gz = Ganglienzellen ,
% = prozentualer Anteil, a = afferent, e = efferent,

Spezies	große Gz%	kleine Gz%	Autor
Goldfisch	M,Nf,b, ?	b ?	Rosenbluth und Palay(1961)
Ratte	M,Nf,b, ?	M,b, ?	Rosenbluth(1962)
Ratte	M,b,a, 93	Nf,Mp,S, 7 autonom,dcv	Ross und Burkel(1973) Ross (1973)
Kaninchen	M,b, ?	Nf,b, ?	Yasunobo Suruki et al.(1963)
Meerschwein	M,b, ?	N f ,b ?	Reinecke (1967)
Meerschwein	M,b,a, 90	Nf,b,a 10	Kellerhals und Engström(1967)
Katze	M,b,a, 95	Nf,uni-polar,a, 5	Spoendlin(1972)
Mensch	M6%,b,a, 94	Nf,Mp,b,S, e,M6% 6	Ota und Kimura(1980) Kimura et al.(1979)
Mensch	b,S(?) 96	Nf,b,S, 4	Arnold et al.(1980)
Affe	M,b,dcv, 85	Nf,Mp,S, dcv, 15	Wang (1981)

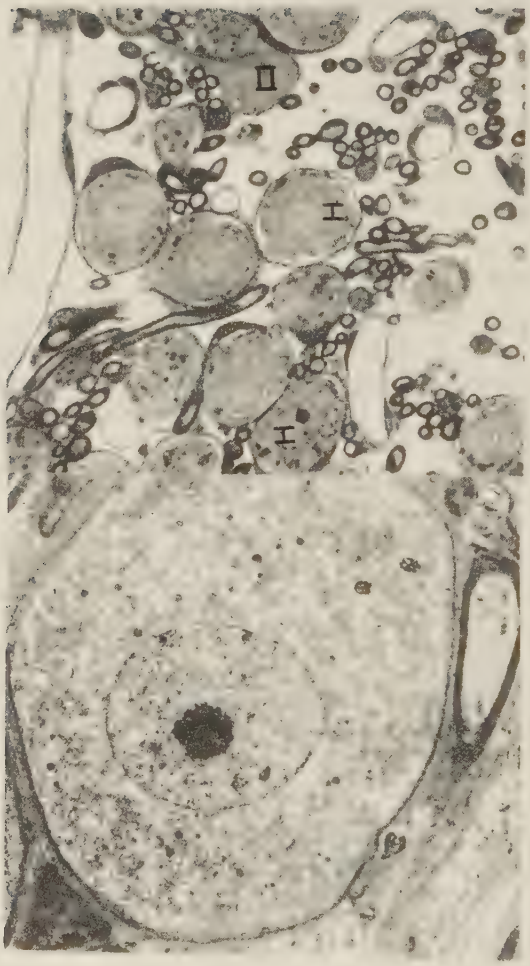

Abb.1

Abb.2

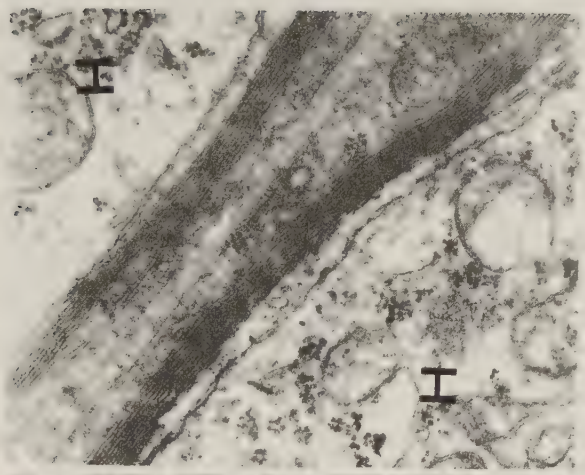

Abb. 3a

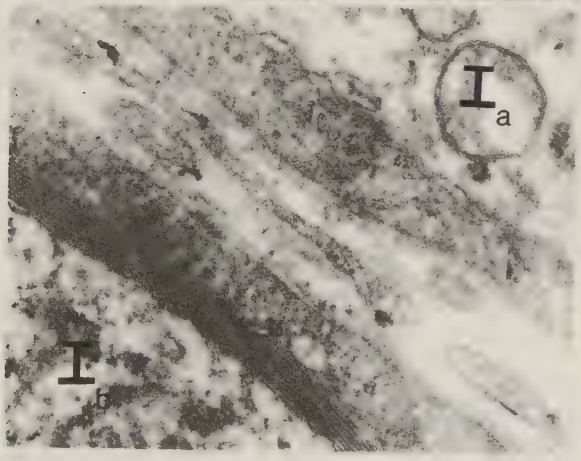

Abb. 3b

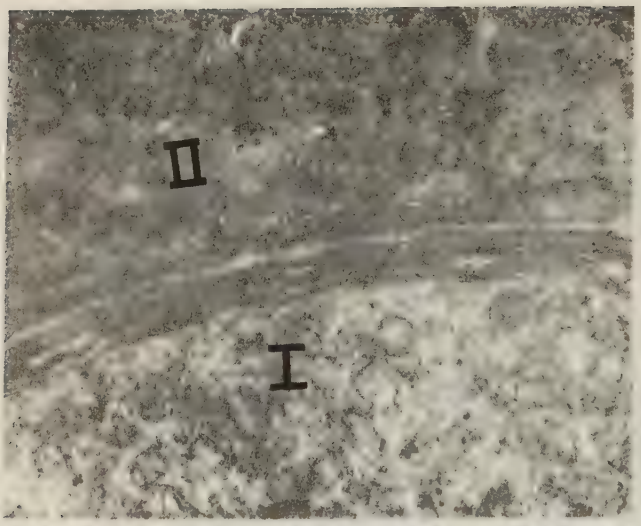

Abb. 4_a

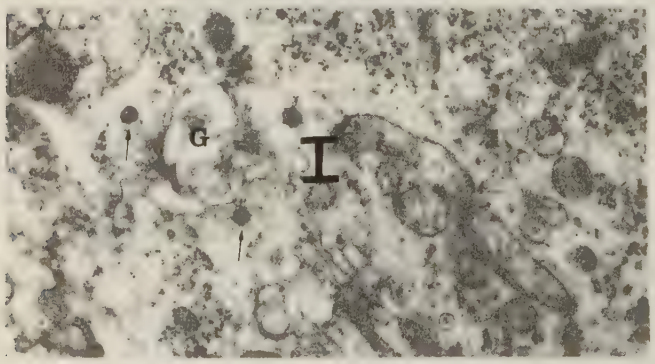

Abb. 4_b

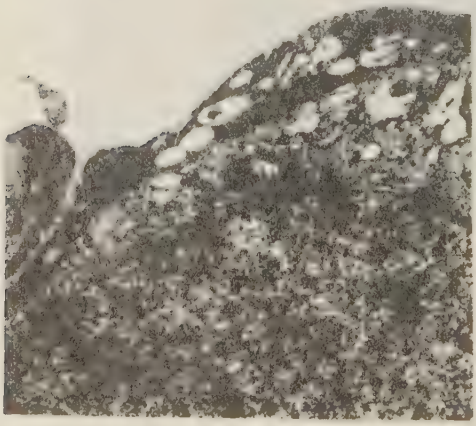

Abb. 5_d

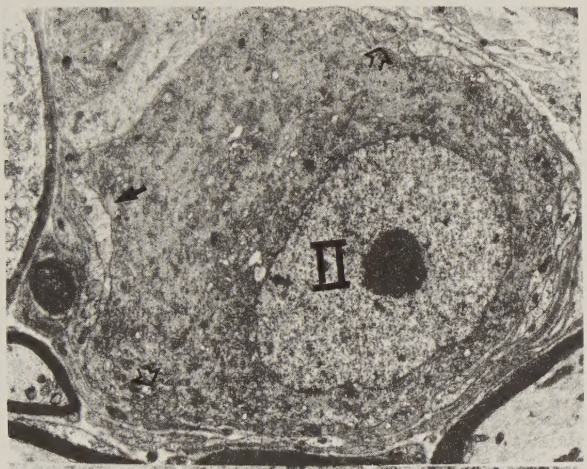

Abb.5a

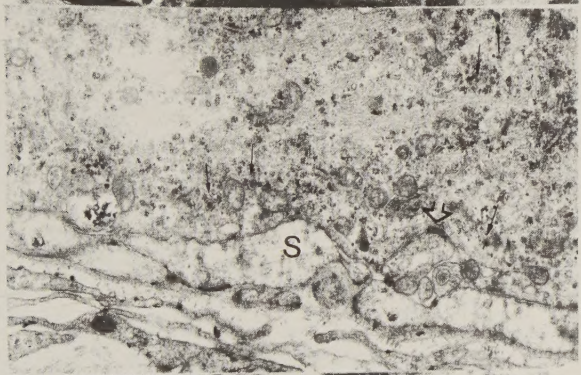

Abb.5b

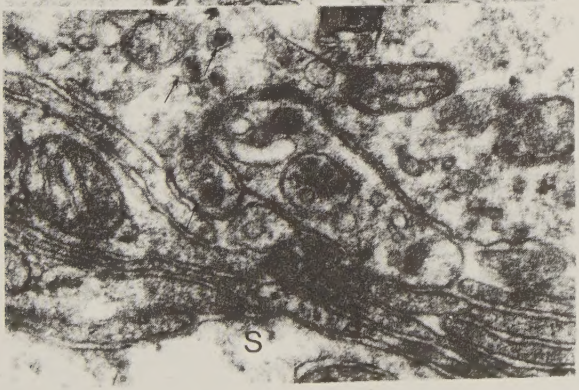

Abb.5c